

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-220168

(P2001-220168A)

(43) 公開日 平成13年8月14日 (2001. 8. 14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード (参考)
C 0 3 B 37/075		C 0 3 B 37/075	2 H 0 5 0
G 0 2 B 6/10		G 0 2 B 6/10	A 4 G 0 2 1
	6/18		C
		6/18	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-348887(P2000-348887)  
(22) 出願日 平成12年11月16日 (2000. 11. 16)  
(31) 優先権主張番号 0 9 / 4 4 0 7 6 3  
(32) 優先日 平成11年11月16日 (1999. 11. 16)  
(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 596092698  
ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レーテッド  
アメリカ合衆国. 07974-0636 ニュージ  
ャーシー, マレイ ヒル, マウンテン ア  
ヴェニュー 600  
(72) 発明者 ディビット ジョン ディジオヴァニ  
アメリカ合衆国 07042 ニュージャーク  
イ, モントクレア, モントクレア アヴェ  
ニュー 126  
(74) 代理人 100064447  
弁理士 岡部 正夫 (外11名)

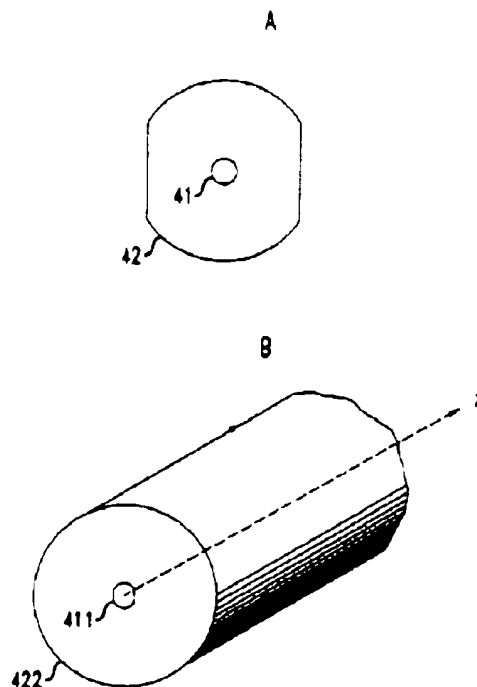
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 改善された多モード光ファイバの製造方法およびこの方法によって製造されるファイバ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 多モードシリカベース光ファイバの製造方法  
およびその方法によって製造されるファイバ

【解決手段】 高帯域幅シリカベースの多モード光ファ  
イバを製造する本発明の方法は、非円形プリフォームを  
提供すること、および該プリフォームからカイル構造  
のファイバを引き出すことを含む。非円形プリフォーム  
は、崩壊の少なくとも一部の間に管状プリフォームの内  
部を減圧下に維持し、その結果として非円形コアおよび  
クラディングを得ることによって製造され得る。非円  
形プリフォームは、プリフォームの適切な部分を除去し  
(例えば、研削またはプラズマエッチングによる)、円  
形コアおよび非円形クラディングを得ることによつて  
も製造され得る。カイル構造は、例えば、ファイバ引  
出しの間にプリフォームに対してファイバを時計回りお  
よび反時計回り方向に交互に捻ることによって、ファイ  
バに与えられる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半径方向に変化する屈折率を有するコアと、このコアを接触して取り巻くクラディングとを有するシリカベースの多モード光ファイバを製造する方法であって、

α、シリカベースの光ファイバプリフォームを提供するステップ、および

β、該プリフォームから前記光ファイバを引き出すステップ、を含む、

γ、ステップαは、プリフォームの少なくとも一部を非円形形状に成形することを含む、

δ、ステップβは、前記光ファイバの前記コアが非円形断面を有し、かつカイル構造が該光ファイバ上に刻印され、それによって前記多モード光ファイバが高帯域幅を有するように、前記プリフォームの前記少なくとも一部からファイバを引き出すステップを含むことを特徴とする、シリカベースの多モード光ファイバを製造する方法

【請求項2】 前記プリフォームの成形は、崩壊されたプリフォーム中の前記コアの少なくとも一部が非円形であるように、プリフォーム崩壊の少なくとも一部の間に、前記プリフォームの内部に、減圧圧力を加えることを含む請求項1に記載の方法、

【請求項3】 前記プリフォームの成形は、崩壊されたプリフォームが円形コアおよび非円形クラディングを有するように、前記崩壊されたプリフォームの外側から材料を除去することを含む請求項1に記載の方法

【請求項4】 前記プリフォームの成形は、前記崩壊されたプリフォームが円形コアおよび非円形クラディングを有するように、前記崩壊されたプリフォームの外側から材料を除去することを含む請求項2に記載の方法、

【請求項5】 前記カイル構造の前記光ファイバへの刻印は、前記ファイバが前記プリフォームから引き出されると、前記ファイバを時計回りおよび反時計回りに交互に捻ることを含む請求項1に記載の方法、

【請求項6】 繰返し長さは前記カイル構造に関連付けられ、前記繰返し長さは10cmまたはそれ未満である請求項1に記載の方法、

【請求項7】 コアと該コアを接触して取り巻くクラディングとを含むシリカベースの多モード光ファイバの長さを含む製品であって、前記コアの少なくとも一部は非円形断面を有し、前記光ファイバは、10cmまたはそれ未満の繰返し長さを有するカイル構成を有することを特徴とする製品、

【請求項8】 前記製品は、伝送器、受信器および該伝送器と受信器とを信号伝送可能に接続するシリカベースの多モード光ファイバを備える光ファイバ通信システムである請求項7に記載の製品、

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多モードシリカベース光ファイバの製造方法およびその方法によって製造されるファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】多モード(MM)シリカベース光ファイバが公知である。簡潔には、このようなファイバは、クラディングに接触して取り巻かれているコアを有する。コアはクラディングの屈折率よりも大きい実効屈折率を有する。コア半径ならびにコアおよびクラディング材料の屈折率は、光ファイバが例えば0.85または1.3μmの動作波長で二つまたはそれを超える数の(代表的には、百またはそれを超える数の)導波モードを支持するように選択される。導波モードは従来LP<sub>mn</sub>と示され、ここで、方位角モード数はゼロより大きい、ゼロに等しい整数であり、半径モード数は1に等しいか、あるいは1より大きい整数である。LP<sub>01</sub>は基本モードであり、他の全てのモードはより高次のモードである。所与のMMファイバによって支持される導波モードの総数NはおおよそV<sup>2</sup>/2に等しく、ここで、Vはファイバの正規化周波数パラメータ(V-数)である。

【0003】適切にグレーディングされたコア屈折率を有するMMファイバは、ステップ型屈折率分布を有する同様のMMファイバよりも実質的に大きい帯域幅を有し得ることが公知である。特に、従来のコア屈折率分布は、

【数1】

$$\frac{n(r) - n_{clad}}{n(r)} = \Delta(1 - (r/r_{core})^\alpha)$$

によって表され、ここで、rは半径方向座標、r<sub>core</sub>はコア半径、n<sub>clad</sub>はコアに隣接するクラディングの屈折率、Δはコア中心とクラディングとの間の正規化屈折率差(望ましくない屈折率くぼみの補正を行う)、およびαは自由なパラメータである。α=2について、分布は放物線状分布と称される。αおよびΔの最適な選択は、とりわけ、MMファイバの光学的に活性な部分を構成する材料の特性および意図される用途に依存する。多くの場合、αは約2である。

【0004】大きな帯域幅を生じさせることによって多モードファイバにおける高次モードの走行時間を均一にし、かつ中心くぼみを補償するファイバ屈折率分布を開発するための努力が払われてきた。例えば、K.Okamotoら、IEEE Trans.Microwave Theory and Techniques、第MTT-25巻、第3号(1977年3月)の第213頁およびM.Geshiroら、IEEE Trans.Microwave Theory and Techniques、第MTT-26(2)巻、1978年、第115頁を参照。

【0005】光ファイバの初期の間は、MMファイバ中のモード結合および、またはそのようなモード結合を強

化する方法に関連する多くの特許が発行された。例えば、米国特許第3,909,110号は、コア屈折率の意図的な変動を有するステップ状屈折率MMファイバ導波路を開示している。米国特許第3,912,478号は、ファイバが引き出されるとファイバに対して導かれる気体流による、ファイバの幾何学的変化の導入を開示している。米国特許第3,969,016号は、選択的に変形される外包外側ジャケットによるモード結合を開示している。米国特許第3,980,459号は、コア材料の積層の間にプリフォームにガラスロッドを挿入し、その結果、長手方向に偏心した屈折率非均一性を有するファイバを得ることを開示している。米国特許第3,982,916号は、ドーパされたガラスおよびドーパされないガラスの円周方向への交互の積層を生成させるための非対称加熱を伴い、結果として得られるファイバが長手方向に偏心した方位角屈折率非均一性を有する、プリフォーム製造工程を開示している。

【0006】米国特許第4,017,288号は、屈折率が長手方向に変化する光ファイバを製造するための技術を開示している。米国特許第4,028,081号は、保護鞘内にゆるやかに閉じ込められたらせん状光ファイバを開示している。米国特許第4,038,062号は、一つまたはそれを越える調節熱源によって達成される、強化モード結合の結果としてモード分散が低減されたMM光ファイバを開示している。米国特許第4,049,413号は、コアの直径が変化するが、全径は均一である光ファイバを製造する方法を開示している。この方法は、プリフォームの溝をエッチングすることを伴う。米国特許第4,093,343号は、ファイバ中に長手方向に変化する振動を有する、モード間結合が故意に誘導された光ファイバを開示している。米国特許第4,176,911号は、勾配型分布領域に次いで屈折率の急激な低下、それに次いで一定屈折率の領域を有するMM光ファイバを開示している。所定の間隔で、ファイバは、従来の勾配型屈折率分布を有するように修正される。

【0007】「改善された屈折率分布を有する多モード光ファイバおよびそれを備える装置」についてS. E. Gallowichらによって1999年6月7日に提出され、同一人に譲渡された米国特許出願第09/326,960号は、(i)線形補正に関連して、コアとクラッドとの間の境界で屈折率分布中に形成されたステップ、(ii)線形補正と組み合わせられる、屈折率ステップを有するあるいは有さない、コアとクラッドとの間の境界の近隣のリップ、および(iii)中心くぼみを有する屈折率分布中に形成された環状リッジ、のうちの少なくとも一つによって、従来のαタイプ分布とは異なる屈折率分布を有するMMファイバを開示している。

【0008】従って、当該技術では、大幅なモード結合

を行う、従って、相対的に高い帯域幅を有するMMファイバを製造させ得る技術が公知である。しかし、製造可能であり、かつ現在用いられているファイバ製造工程に容易に組み込まれ得る、最大帯域幅を増大させ、かつ平均帯域幅のファイバの歩留まりを増加させるために有効な技術の必要性が未だにある。本願はこのような技術を開示している。本明細書において引用されている全ての参考文献は、本明細書において参照によって採用される。

【0009】与えられたモードグループ内のモードを完全に混合し、かつモードグループも完全に混合する機構が存在する場合、コア屈折率を慎重にグレーディングすることなく高帯域幅が実現され得ることがMMファイバの理論から公知である。例えば、R. Olshansky, *Applied Optics*, 第14(4)巻, 1975年4月, 第935頁を参照。1つのモードグループの全てのモードは同一の伝搬定数 $\beta$ を有し、異なるモードグループは異なる伝搬定数を有する。

【0010】上記の理論上の予測は、高帯域幅(例えば、 $\sim 5 \text{ GHz} \cdot \text{km}$ )がコア屈折率の非最適なグレーディングを有するファイバ上で測定されているプラスチックMM光ファイバで確認されている。

【0011】プラスチックファイバは厳密なモード混合を本質的に有することが理解される。他方、シリカベースのMM光ファイバの測定は、従来のシリカベースのファイバにおいて、モードグループ内およびモードグループ間で相対的にほとんど混合が生じないことを示している。

【0012】(用語解説および定義)「カイラリティ」、および「カイラル構造」などの関連用語は、本明細書中では「左右像」および「左右対称構造」をそれぞれ指す用語として、従来の意味で用いられる。

【0013】本明細書における「プリフォーム」は、崩壊前のプリフォーム管および崩壊後の成形された、または成形されていないプリフォームロッドを指し得る。意味は文脈から明確である。

【0014】

【課題を解決するための手段】概して、本発明は、代表的には100MHz $\cdot$ kmを超える高帯域幅を有するシリカベースMM光ファイバを製造する方法に具現化される。

【0015】より詳細には、本発明は、コアおよびコアを接触して取り巻くクラッドを有するシリカベースのMM光ファイバを製造する方法に具現化され、このコアは半径方向に変化する屈折率を有する。この方法は、シリカベースの光ファイバプリフォームを提供することと、プリフォームから光ファイバを引き出すこととを含む。重要なことに、プリフォームの少なくとも一部は円筒形の断面を有し、引出しステップは、引き出されたファイバがカイラル構造を有するようにプリフォーム

からファイバを引き出すことを含む。カウラル構造に関連付けられているのは、代表的には繰返し長さまたは周期である。繰返し長さは代表的には100 $\mu$ mまたはそれ未満であり、代表的には、ファイバの長さに沿って変化する。

【0016】好ましい実施の形態において、非円形コアを有する非円形プリフォームロッドは、管内の減圧圧力を維持しながら管状プリフォームを崩壊させることによって形成される。別の実施の形態において、非円形コアは、プリフォームロッドの外側からガラスを選択的に除去し（例えば、研削またはプラズマエッチングによる）、次いで、結果として得られるファイバは実質的に円形の断面を有するが、非円形のコアを有するように相対的に高い温度でファイバ引出しを行うことによって形成される。

【0017】いずれの場合においても、カウラル構造は、概して、プリフォームに対してファイバを捻ることによって、またはファイバに対してプリフォームを捻ることによって、引出す間にファイバ内に導入される。好ましい実施の形態において、ファイバは、米国特許第5,298,047号に実質的に開示されているように、プリフォームに対して時計回りおよび反時計回りに交互に捻られる。

【0018】非円形コアが、好ましくは、ファイバ引出しの間に導入されるカウラリティを有して、存在することによって、代表的には大幅なモード結合が得られ、その結果として、ファイバの高帯域幅および屈折率分布の詳細に対する帯域幅の感度の低下が得られる。本発明のさらなる例示的な実施の形態において、屈折率分布は従来の放物線状分布または近似放物線状分布とは異なり、非円形コアおよび与えられたカウラリティと組み合わせられて、モード混合およびその結果として生じる高帯域幅が増大されるように選択される。例示的には、屈折率分布は、上記で参照された米国特許出願第09/326,960号において開示されている通りである。過剰に充填されたモードラUNCH(mode launch)のまたは制限されたモードラUNCHいずれか、あるいはその両方を用いて、帯域幅の増大が実現され得る。

【0019】本発明はまた、MMファイバの高帯域幅を有するように、所与のモードグループ中のモード間およびMMファイバのモードグループ間でモード結合を生じさせるために十分な非円形断面およびカウラリティを有するシリカベースのMM光ファイバを備える製品に具現化される。例示的には、製品は、光ファイバ通信システム、例えば、光ファイバローカルエリアネットワーク(LAN)である。

【0020】

【発明の実施の形態】物体を図示する図面は、共通の尺度を示す、または比例していることを意図するものではない。

【0021】図1は、 $\alpha$ タイプコア屈折率を有する例示的なMMファイバ屈折率分布を示す。図1において、 $n$ は屈折率、 $r$ は半径方向、11はコア屈折率 $n(r)$ 、12はクラディング屈折率 $n_{clad}$ 、および13はコア-クラディング界面である。シリカベース光ファイバは、代表的には、ポリマークラディングに接触して取り巻かれている。このようなクラディングは本願において役割を果たさず、さらに論じられない。

【0022】従来のMM伝送ファイバは、方位角および/または長手方向安定度からのいかなる逸脱もが望ましくない製造欠陥となる、方位角および長手方向ファイバ座標から本質的に独立した構造を有することが理解される。しかし、方位角の変化を示す光ファイバのように、長手方向に変化する構造を有する光ファイバが公知である。後者の光ファイバの例については、例えば、偏光モード分散の低減のためにファイバに永久的スピンを導入することを開示している米国特許第5,298,047号を参照されたい。前者の例は偏光維持ファイバである。例えば、D.N.Payneら、IEEE Journal of Quantum Electronics, 第QE-18(4)巻、1982年4月、第477頁を参照されたい。両方のタイプのファイバは、概して、単一モードファイバである。

【0023】本発明による方法の重要な特徴は、実質的なモード混合がファイバの動作の間、すなわち、動作波長入の電磁放射の伝送の間に生じるように、MM光ファイバに振動を導入することである。モード混合は、望ましくは、所与のモードグループ内のモードの混合、およびモードグループの混合を含む。例として、長手方向座標の関数としてのコア直径のゆらぎは、モードグループ内にモード結合を生じさせる傾向にあり、ファイバ中のマイクロバントはモードグループ間のモード結合を生じさせる傾向にある。MM光ファイバ中のモード結合の検討については、例えば、R.Olshansky, Reviews of Modern Physics, 第51(2)巻、第341-367頁(1979)を参照。

【0024】図2は、従来技術のMMプリフォーム、または光ファイバを概略的に示し、参照符号21〜25は、コア、クラディング、半径方向座標、方位角座標および長手方向座標をそれぞれ指す。

【0025】シリカベースMMファイバ中のモード混合によって高帯域幅を達成するという目的は、いずれもの適切な方法で、適した振動を光ファイバに導入することによって達成され得る。しかし、モード結合振動を有するMMファイバを製造するための公知の技術の多くは、製造環境において実行することが困難、および/または現在用いられているファイバ製造工程に組み込むことが困難である。従って、製造環境において実行され得、かつMMファイバを製造するための従来の工程に容易に組み込まれ得る、振動をMMファイバに導入する方法が必要とされ、この方法が本明細書において開示される。

【0026】このような振動を導入するための適した方法は、(1) 崩壊するプリフォームが非円形断面をとるように、プリフォーム管の内部の減圧圧力(例えば、0.1気圧またはそれ未満)を維持しながらプリフォーム崩壊を実行し、それに次いで、プリフォームからの引出しの間にファイバにカイラリティを与えること、および、(b) 結果として得られる成形されたプリフォームが非円形(例えば、多角形)断面を有するように、従来のプリフォームのロッドの外側からガラスを除去すること、である。次いで、ファイバの外側が実質的に円形になり、コアが非円形になるように、引出し温度が十分に高い状態で、ファイバが、成形されたプリフォームから引き出される。プリフォームからファイバを引き出す間、カイラリティがファイバに与えられる。

【0027】図3は崩壊された非円形光ファイバプリフォーム(または崩壊されたプリフォームから引き出されたファイバ)を概略的に示し、参照符号31および32はコア材料およびクラッド材料を指す。プリフォームは、代表的には、従来の方法でMCVDによって製造される。コア材料(および、代表的には、クラッド材料の一部)の積層後、円形断面の管状プリフォームは崩壊されて固体ガラスロッドとなる。崩壊の間、管状本体の少なくとも一部が非円形断面をとるように条件が選択される。代表的には、条件の選択は、崩壊時間の少なくとも一部の間、管状プリフォーム内部で減圧圧力を維持することによって達成される。崩壊の完了に続いて、結果として得られるガラス本体が引出しタワー(draw tower)中に取り付けられ、ファイバが引き出される。結果として得られる光ファイバが、代表的にはファイバの長手方向軸に沿って方位角振動および半径方向振動を有するカイラル構造を有するように、ファイバがプリフォームに対して捻られるか、あるいはプリフォームがファイバに対して捻られる。

【0028】非円形コア断面を有するMMファイバを製造するための更なる例示的な技術は、従来のMMプリフォームを製造することと、従来の方法でプリフォームを崩壊させることを含む。次いで、結果として得られる円対称のガラスロッドは、ロッドがもはや円対称を有さないように成形される。例えば、ロッドは、研削またはブラズマトリッチによって、多角形(例えば、六角形)断面を有するように、または実質的に楕円の断面を有するように成形され得る。図4Aは、実質的に楕円形の断面を有するプリフォームの一部を概略的に示す。参照符号41および42は、(円対称の)コアおよびクラッドをそれぞれ指す。

【0029】成形動作の完了後、成形されたプリフォームが引出しタワー中に取り付けられ、光ファイバがプリフォームから引き出される。高温帯の温度は、代表的には、相対的に高く(例えば、2100〜2400℃の範囲内)、ファイバの外側が実質的に円形断面をとり(表

面張力による)、その結果としてコアが非円形になるように選択される。この形状は図4Bに示され、ここで参照符号411および412は非円形コアおよび実質的に円形のクラッドを各々指す。ファイバが相対的に高い温度で引き出されるのみならず、ファイバ引出しの間にカイラリティがファイバに与えられる。この例示は、プリフォームに対してファイバを捻ること、あるいはファイバに対してプリフォームを捻ることによって行われる。結果として得られるファイバは、代表的には、ファイバの長手方向座標に沿って方位角振動および半径方向振動を有する。

【0030】ファイバにカイラリティを与えることは、いずれもの適切な方法で達成され得る。例えば、引出しが内部のプリフォームは、その軸の周りを回転させられ得る。例えば、米国特許第4,504,300号を参照。現在の好ましい実施の形態において、ファイバは時計回りおよび反時計回りに交互に捻られる。とりわけ、振動ガイドローラによってファイバを時計回りおよび反時計回りに交互に捻り得る引出しタワーを示す、米国特許第5,298,017号を参照されたい。交互の捻りは、代表的には、強化されたモード混合を生じさせる繰返し長さを調節する。

【0031】本発明によるMMファイバは、高速光ファイバ通信システム、例示的には、LANにおいて、有利に用いられる。図5は、伝送器51、受信器52、および伝送器と受信器との間を信号伝送可能に接続するMM光ファイバ53を備える例示的な光ファイバ通信システム50を概略的に示す。

【0032】

【発明の実施の形態】従来の管状多モードプリフォームを形成し、崩壊前に二つの部分に分割した。二つの部分のうちの一つを従来の方法で崩壊し、他方を真空下で崩壊した。二つの崩壊されたプリフォームの各々から、捻らないファイバの長さおよび捻った同様の長さを引き出した。次いで、モード遅延差測定をそれぞれのファイバの300m長さに行った。真空崩壊がないコア楕円率が4.6%であったのに対して、真空崩壊およびそれに続くファイバ引出しの結果として13.9%のコア楕円率が得られた。30回捻り分となるように引出し速度および捻りを選択した。

【0033】図6〜9は、真空崩壊および捻りを行わないファイバ、真空崩壊を行わず捻りを行ったファイバ、真空崩壊を行い捻りを行わないファイバ、ならびに真空崩壊および捻りを行ったファイバにそれぞれ関する。

【0034】図面は、発射されたパルスの様々なオフセットについて、時間の関数としてパルス振幅を示す。各図面は、9つのオフセット(下から上に向かって、0±5μm, ±10μm, ±15μmおよび±20μm)についてのパルス振幅を示している。この質的な検討の目的のために、対応する正および負のオフセットを有す

るパルスを識別する必要はない。図6～9を精査すると、図9のパルス（真空崩壊され、引き出しの間に捻られた）は他の図面のパルスよりも実質的に小さいパルス幅を有することがわかり、これは真空崩壊され捻られたMMファイバの帯域幅よりも大きい帯域幅を有することを示す。図9のパルスはまた、図6～8のパルスよりも大幅に小さい構造を有し、これもまた、より高い帯域幅であることを示している。さらに、図9の相対的に無構造であり、オフセットがゼロのパルスは、（概して存在する）中心屈折率くぼみの影響が低減されていることを示す。

【0035】図10～13は、横方向オフセットの関数として、パルス中心差分モード分散（それぞれ参照符号101、111、121および131）およびパルス幅（それぞれ参照符号102、112、122および132）についての対応するデータを示す。パルス幅データは右側縦座標（ps単位）に関し、パルス中心相対遅延は左側縦座標（ps百分単位）に関する。

【0036】図10～図13を精査すると、真空崩壊捻りファイバ（図13）は他のファイバよりも小さいパルス幅および小さい差分モード分散を有することがわかり、これは真空崩壊され捻られたファイバについて帯域幅が大きいことを示している。

【0037】本発明のさらなる例示的な実施の形態において、コアが円形円周を有するが、円周（ここで代表的には屈折率はゼロである）からコアの中心に向かって楕円率が增大する屈折率分布を有するように、プリフォームが製造される。これは図14に図示され、ここで参照符号140および141はクラディングおよびコアの円周をそれぞれ指し、参照符号142～144は等屈折率の線を示す。図14によるプリフォームは、プリフォームの少なくとも一部が非円形断面を有するように製造されるプリフォームの例示である。図14はプリフォームから引き出されたファイバも表し、ファイバのコアは非円形の断面を有することが理解される。

【0038】性能係数（FOM）を以下の通りに定義した。MMファイバの300m長さ上で測定される全てのパルスを考慮する。最大電力半値点でのパルスの立上がりエッジおよび立下りエッジの到着時を表にする。立上がりエッジの最も早い到着時および立下りエッジの最も遅い到着時との間の最大時間差を算出する。このパラメータは $T_{\text{rise}}$ と示される。次いで、 $\text{FOM} = \text{FOM} = T_{\text{rise}} / P$ と定義され、ここで $P$ はビット期間の2～3倍である。本例において、 $P = 0.7 \text{ ps}$ である。

【0039】 $\text{FOM} = 1$ は、パルスの総スパンがビット期間の2～3に納まることを意味し、 $\text{FOM} = 10$ は、パルスの総スパンがビット期間の幅の10倍であることを意味する。小さいFOMは、概して広い帯域幅に関連付けられる。

【0040】上記の四つりMMファイバについてのFOM

Mが決定され、真空崩壊無し、捻り無し（ $\text{FOM} = 7$ 、0）から真空崩壊無し、捻り（ $\text{FOM} = 5$ 、4）へ、真空崩壊、捻り無し（ $\text{FOM} = 4$ 、8）へ、真空崩壊、捻り（ $\text{FOM} = 2$ 、7）へと減少することが見出された。

【0041】上述の手順および結果は例示的であり、本発明の実施は様々なファイバタイプが同一の管状プリフォームから形成されることを必要としないことが理解される。

【図面の簡単な説明】

1) 【図1】例示的な放物線状屈折率分布を概略的に示す図である。

【図2】半径方向、方位角および長手方向座標を示すMMプリフォーム（またはMMファイバ）の一部を概略的に示す図である。

【図3】非円形コアおよびクラディングを有する例示的なMMプリフォーム（またはMMファイバ）を概略的に示す図である。

【図4】図4Aは例示的な成形MMプリフォームを概略的に示す図であり、図4Bは相対的に高い温度で成形プリフォームから引き出されたMMファイバを概略的に示す図である。

【図5】本発明によるMMファイバを備える例示的な光ファイバ通信システムを概略的に示す図である。

【図6】様々なオフセットについて、真空崩壊の有無および捻りの有無での様々な条件下で製造される、多モードファイバについて、時間の関数としてパルス振幅を示す図である。

【図7】様々なオフセットについて、真空崩壊の有無および捻りの有無での様々な条件下で製造される、多モードファイバについて、時間の関数としてパルス振幅を示す図である。

【図8】様々なオフセットについて、真空崩壊の有無および捻りの有無での様々な条件下で製造される、多モードファイバについて、時間の関数としてパルス振幅を示す図である。

【図9】様々なオフセットについて、真空崩壊の有無および捻りの有無での様々な条件下で製造される、多モードファイバについて、時間の関数としてパルス振幅を示す図である。

【図10】図6の多モードファイバについて、横方向オフセットの関数としてパルス中心差分モード分散およびパルス幅を示す図である。

【図11】図7の多モードファイバについて、横方向オフセットの関数としてパルス中心差分モード分散およびパルス幅を示す図である。

【図12】図8の多モードファイバについて、横方向オフセットの関数としてパルス中心差分モード分散およびパルス幅を示す図である。

【図13】図9の多モードファイバについて、横方向オフセットの関数としてパルス中心差分モード分散および

11

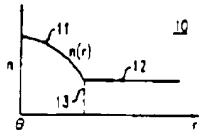
12

パルス幅を示す図である。

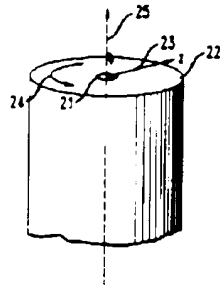
施の形態を概略的に示す図である。

【図14】本発明によるファイバのさらなる例示的な実

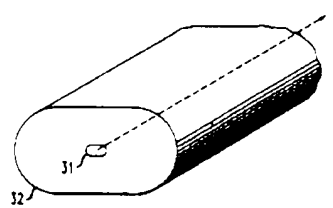
【図1】



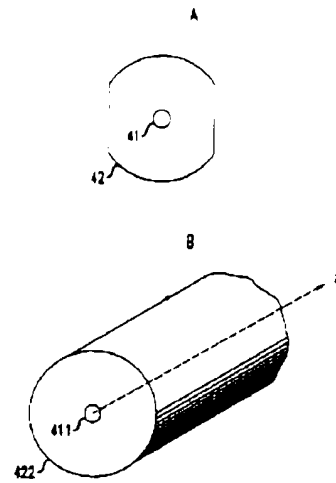
【図2】



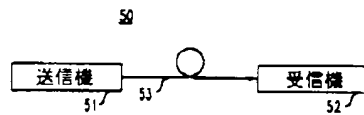
【図3】



【図4】

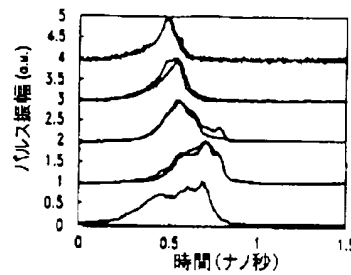


【図5】

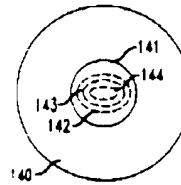


【図6】

オフセット0, +/-5, +/-10, +/-15, 及び +/-20 ミクロン(下から)

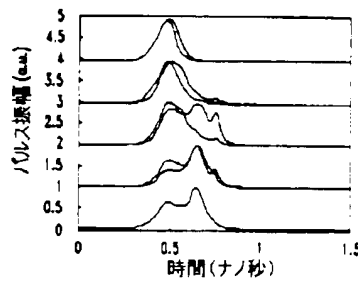


【図14】



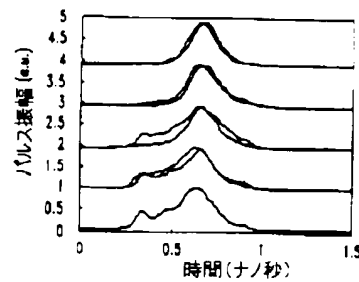
【図7】

オフセット0, +/-5, +/-10, +/-15, 及び +/-20 ミクロン(下から)



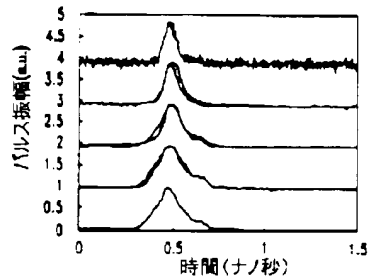
【図8】

オフセット0, +/-5, +/-10, +/-15, 及び +/-20 ミクロン(下から)

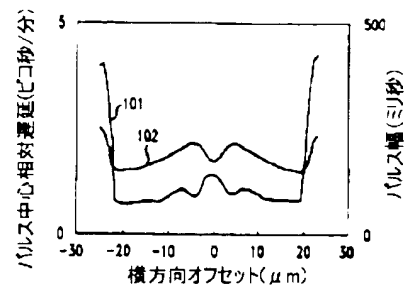


【図9】

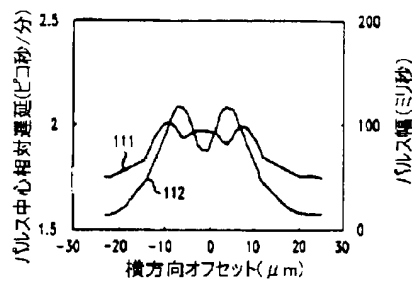
オフセット0, +/-5, +/-10, +/-15,及び+/-20 ミクロン(下から)



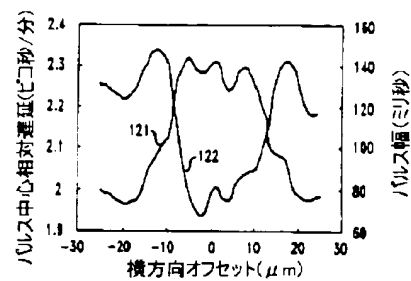
【図10】



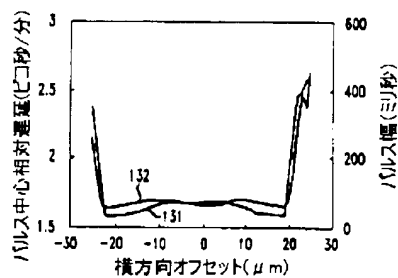
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 スティーヴン ユージーン ゴロウィッチ  
アメリカ合衆国 07974 ニュージャージー  
イ、ニュー プロヴィデンス、スプリング  
フィールド アヴェニュー 1371, ナンバ  
ー3

(72)発明者 シーン エル. ジョーンズ  
アメリカ合衆国 30021 ジョージア、ク  
ラークストン、ウォーターフォード プレ  
イス 3708

(72)発明者 ウィリアム アルフレッド リード  
アメリカ合衆国 07901 ニュージャージー  
イ、サミット、ブラックバーン ロード  
143

Fターム(参考) 2H050 AC01 AC05 AC84  
4G021 LA01